

# **Kudosten ja viilun muodostamat komposiitit**

**Tutkimus koivuviilun ja hiilikuitu- sekä aramidikuitukudosten  
komposiittirakenteista**

Veeti Paju  
Materiaalitutkimus  
Muotoilun koulutusohjelma  
Muotoilun laitos  
Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu  
Aalto-yliopisto  
26.3.2018

## Tiivistelmä

Tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa Hiilikuitu- sekä aramidikuitukudosten ja viilun muodostamien komposiittirakenteiden ominaisuuksia. Tavoitteena oli syventää tietoutta käytettävistä materiaaleista ja löytää niille mahdollisesti uudenlaisia käyttötarkoituksia muotoilun alueelta.

Tutkimuksessa keskityttiin pääosin hiilikuitukudoksen ja koivuviilun muodostamaan komposiittiin. Tutkimuksen aikana valmistettiin viisi erilaista sarjaa koekappaleita. sarjalla, jossa koepalat oli rakennettu kolmesta viilukerroksesta ja neljästä hiilikuitukudoskerroksesta, suoritettiin taivutuskestävyyskoe kappaleiden toiseen päähän kiinnitettyjen punnusten avulla.

tuloksena saavutettiin hyvin taivutusta kestävä komposiittia, joka oli jäykkää ja palautui todella hyvin alkuperäiseen muotoonsa taivutuksen jälkeen. Hiilikuidun avulla viilurakenteesta saatiin todella paljon kestävämpää vain pienellä paksuuserolla. Kokeissa huomattiin, että sidosaine alkaa halkeilla ensimmäisenä kudoksen risteyskohdista, jonka jälkeen kappale alkaa murtua, kun taivutuskestävyys ylittyy.

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	2
Johdanto.....	4
Menetelmä.....	4
Mittaukset.....	5
Mitattavat koepalat .....	6
Tulokset.....	6
Hiilikuitukudos .....	8
Aramidikuitukudos.....	8
Kudosten vertailu .....	9
Päätelmät .....	9
Lähdeluettelo .....	11
Liitteet .....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>

## Johdanto

Tutkimukseni lähtökohtana on hiilikuitukudoksen sekä aramidikuitukudoksen ja viilun muodostamien komposiittirakenteiden tutkiminen. Tutkimukseni pääpaino on hiilikuidun ja viilun yhdistämisessä. Tutkimuksessa selvitetään minkälaiset viilu- ja hiilikuitukudosrakenteet parantavat puun omaa kestävyyttä ja lujuutta. Pyrkimyksenä on myös löytää sellaisia viilun ja kuitukudosten yhdistelmiä, joita voisi hyödyntää esimerkiksi huonekalusuunnittelussa.

Hypoteesina oli tutkimuksen alussa, että hiilikuitu lujittaa viilun ja sen avulla saadaan luotua ohuempia, kevyempiä ja kestävämpiä rakenteita. Aramidilla eli kevlar-kuidulla oli tutkimuksessani vain todella pieni osa ja sen käyttäminen pelkän viilun kanssa onkin haasteellista. (Saarela 2007, 89)

## Menetelmä

Käytin komposiittikoepalojen valmistukseen ensin 0.6 mm koivuviilua, mutta siirryin ensimmäisen koepalan jälkeen 1.2 mm paksuiseen koivuviiluun, josta valmistin loput koepalat. Siirryin 1.2mm viiluun, sillä ohuempi viilu päästi sidosaineena käytetyn liiman suoraan kerrosten läpi. Viilun lisäksi komposiitteihin käytettiin aramidikuitu- sekä hiilikuitukudosta. Sidosaineena jokaisessa koepalassa toimi Gurit-merkin SP 106 epoksihartsi. Epoksin sekoitussuhde on 5/1 ja sitä täytyy noudattaa todella tarkasti.

Viilu- ja kudosterrokset valeltiin SP 106 Laminointiepoksilla pensseliä käyttäen. Tämän jälkeen ne aseteltiin haluttuun järjestykseen päällekkäin. Kaikki koepalat laitettiin noin 85 baarin alipaineeseen kahdeksi tunniksi käyttäen alipainepöytää.

Ensimmäisessä sarjassa laminoitiin hiilikuitukudosta kahden 0.6mm viilun väliin. Tässä sarjassa huomattiin kuitenkin nopeasti, ettei hiilikuitu ole hyvä ydinmateriaali viilun kanssa. Jo toisessa koesarjassa valmistettiin kappaleita, joiden ytimenä oli 1.2mm viilua päällystettynä molemmin puolin hiilikuitukudoksella. Rakenne oli verrattaessa ensimmäiseen sarjaan huomattavasti kestävämpi. Kolmannessa sarjassa laminoitiin yhteen 0.25mm hiilikuitukudos ja 1.2mm koivuviilu. Tuloksena saatiin materiaalia, joka oli edelleen todella joustavaa ja komposiitti eli puun mukana. Neljäs sarja tehtiin 0.25mm aramidikuitukudoksesta ja 1.2mm viilusta. Aramidikuitu osoittautui todella jäykäksi laminoinnin jälkeen, eivätkä koepalat olleet kestäviä. Aramidikudos eli kuitenkin viilun kanssa lähes saman verran kuin hiilikuitukudos. Viimeiseen koesarjaan valmistettiin kolme kappaletta noin 4.5mm paksuisia koepaloja. Nämä koepalat tehtiin neljästä hiilikuitukudoskerroksesta ja kolmesta koivuviilukerroksesta. Kerrokset oli aseteltu koepaloihin vuorottelevaan järjestykseen. Tällä sarjalla suoritettiin taivutuskestävyyskokeita.



**Kuvat 1,2** Gurit SP 106 epoksihartsin ja alipainepöytä

## Mittaukset

Koepalat kiristettiin kiinni pöytään puristimella siten, että koepalojen toinen pää tuli pöydän reunan yli. Reunan yli tulevaan päähän asetettiin lanka, jonka varaan laskettiin punnuksia. Kokeissa käytettiin 1.25kg ja 2.5kg punnuksia. Tällä kokeella pyrittiin selvittämään komposiitin taivutuskestävyyttä.



**Kuva 3.** Taivutusmittaus

## Mitattavat koepalat

Mittauksia suoritettiin koepaloilla, jotka olivat mitoiltaan 180mm x 50mm x 4.4mm kokoisia.

Koepalat oli rakennettu kolmesta koivuviilu- ja neljästä hiilikuitukudoskerroksesta.

Koivuviilukerrokset olivat 1.2mm paksuisia ja hiilikuitukerrokset 0.25mm paksuisia. Koivuviilujen syysuunta oli vuorotteleva ja materiaalit oli aseteltu myös vuorottelevaan järjestykseen.

Sidosaineena käytettiin Gurit SP 106 epoksiahartsia.



**Kuva 4.** Koepala, jolla suoritettiin mittauksia

## Tulokset

Taulukossa esiintyvien tulosten mukaan koepalat kestivät taipumatta noin 2 kilogramman painon. Kun painoa lisättiin, mitattava kappale alkoi taipua tasaiselle kaarelle. 5 kilogramman kohdalla kappaleen taipuvuus oli sen päästä mitattuna noin 12mm vaakatasosta. 8 kilogramman kohdalla kappaleet alkoivat ratketa. Kohdat, joissa oli vain sidosainetta, muodostivat heikompia alueita koepaloissa. Koekappaleet alkoivat ratketa ensimmäiseksi kudosten risteyskohdista. Mitä lähempänä hiilikuitukudoksen kudolangat olivat toisiaan, sitä parempi kestävyys laminaatilla oli. Myös epoksin määrä koepalassa vaikutti sen pinnanlaatuun ja kestävyYTEEN. Parhaat tulokset saavutettiin tasaisella määrällä epoksia, jolloin myös kappaleen pinta oli todella tasainen ja kiiltävä sekä tiheällä hiilikuitukudoksella. Kun epoksin määrää lisäsi koepalassa, sen kestävyys ei kuitenkaan ollut suoraan verrannollinen epoksin määrään. Liika epoksi aiheutti koepaloissa halkeilua.

Mikäli koepalaan ei kohdistunut niin suurta voimaa, että se olisi rikkoutunut, se palasi takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Hyvinkin suuri taipuminen palautui lähtötasolle. Rikkoutuessaan komposiittikoepaloissa oleva sidosaine pirstaloitui ja hiilikuitu- ja puukerrokset pääsivät tämän jälkeen liikahtamaan irti toisistaan.

Koepala 1. (vähän sidosainetta)					
Paino (kg)	1.25kg	2.5kg	3.75kg	5kg	7.5kg
Taipuvuus	1mm	3.5mm	6mm	15mm	27mm
Koepala 2. (tasainen sidosaine)					
Paino (kg)	1.25kg	2.5kg	3.75kg	5kg	7.5kg
Taipuvuus	0mm	3mm	5mm	12mm	21mm
Koepala 3. (runsaasti sidosainetta)					
Paino (kg)	1.25kg	2.5kg	3.75kg	5kg	7.5kg
Taipuvuus	0mm	3mm	7mm	16mm	32mm

## Hiilikuitukudos

Hiilikuitukudos, jota käytin koepalojen valmistuksessa on 5-8µm hiilisäikeistä valmistettua kankaanomaista materiaalia. Tätä materiaalia on helppo taivuttaa esimerkiksi muotteihin ja se sopii keveytensä ja lujuutensa vuoksi todella hyvin urheiluautojen, veneiden ja esimerkiksi avaruusalalan laitteiston valmistukseen. Hiilikuidulla lujitettua muovia käytetään paljon veneiden ja kilpa-autojen lujuutta vaativissa korjauksissa. Tällä kuidulla on kuitenkin verrattaessa aramidikuituun huonompi iskunkestävyys.



**Kuva 5.** Hiilikuitukudosmattoa ja lähikuva kudusrakenteesta

## Aramidikuitukudos

Aramidikuitu, joka tunnetaan ehkä paremmin nimellä kevlar, on palamatonta ja iskun kestävä. Tätä kuitua käytetään yleensä yhdessä muiden lujitekuitujen, kuten hiilikuidun kanssa. Yleisimpiä sovellutuksia aramidikuiduille ovat esimerkiksi luotiliivit. Huomasin koepaloja tehdessä, että aramidikuitua on melko vaikea leikata tavallisilla saksilla ja onkin suositeltavaa, että sen leikkaamiseen käytetään sähköistä työkalua.





**Kuva 6.** Aramidikuitukudosmattoa ja lähikuva kudusrakenteesta

## Kudosten vertailu

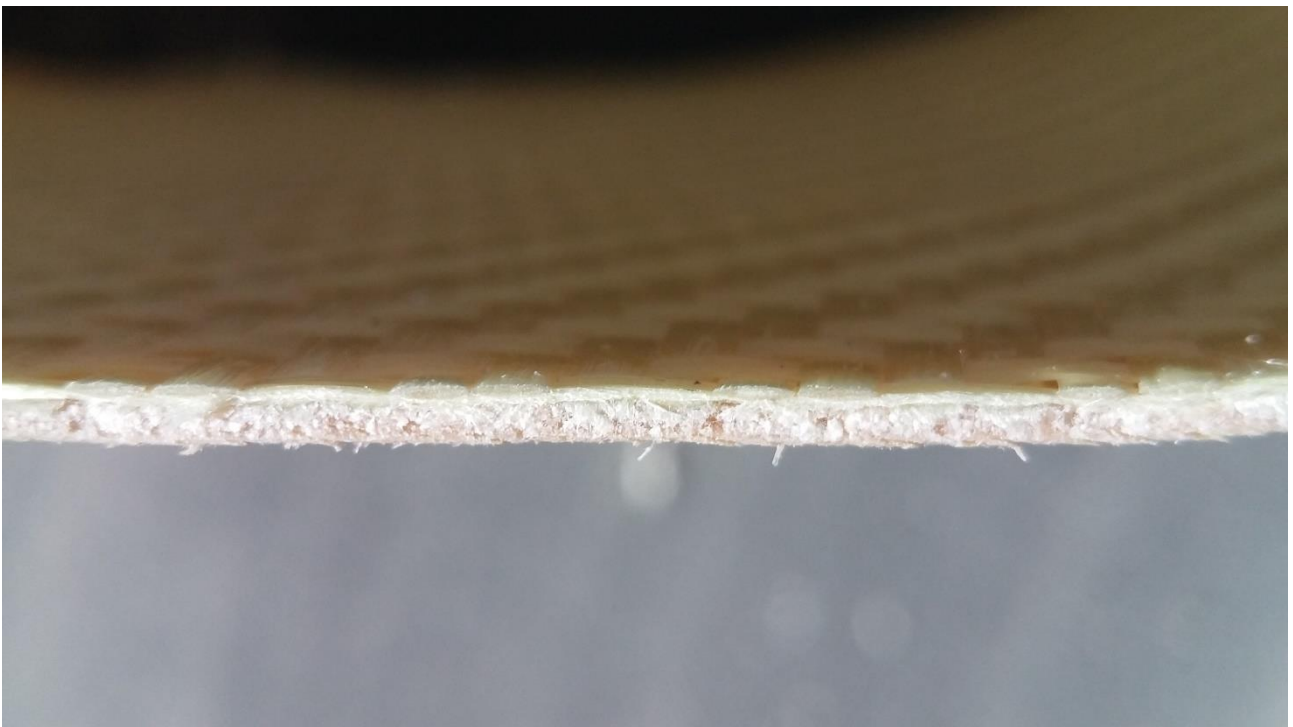
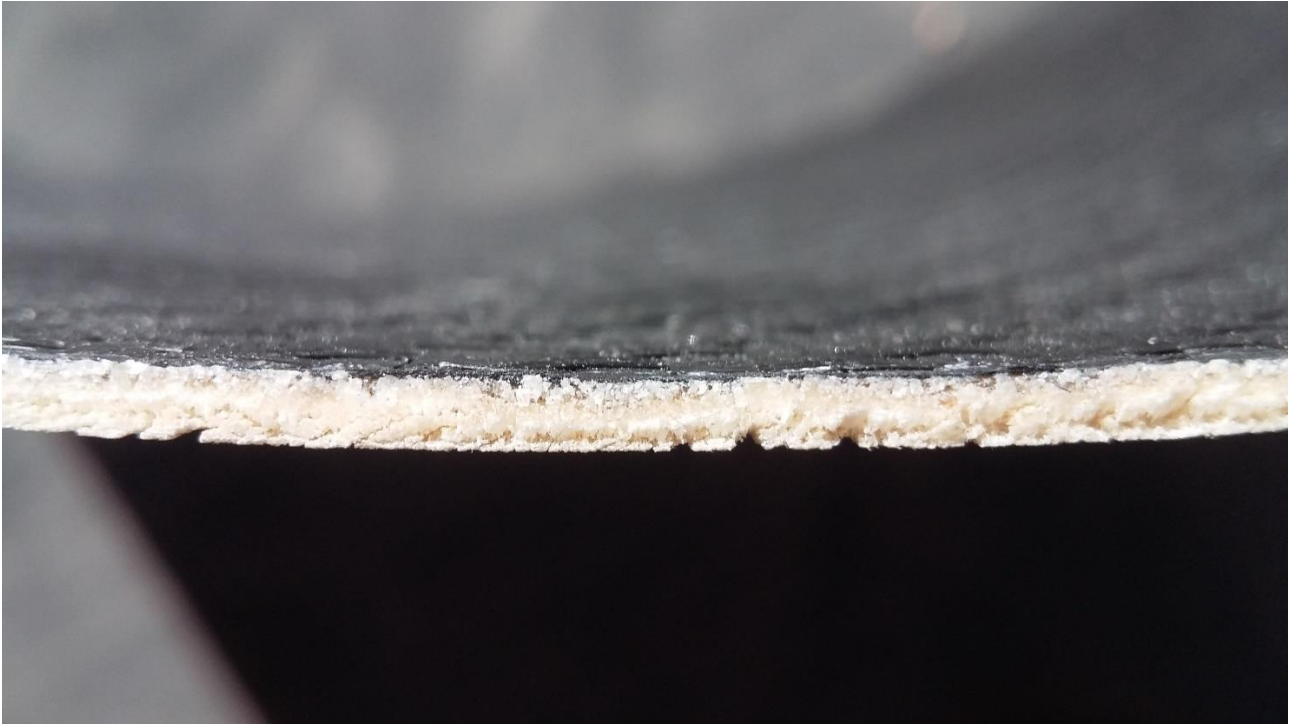
Kun verrataan viulun päälle sidosaineella kiinnitettyjä hiili- ja aramidikuitukudoksia, huomaa heti, että hiilikuitu on todella paljon joustavampaa. Aramidikuitu on todella paljon jäykempää.

## Päätelmät

Puun ja hiilikuitukudosten yhdistäminen sekä molempien materiaalien parhaiden puolien säilyttäminen on hyvin haastavaa. Käyttäjän tulee myös tarkoin harkita näiden materiaalien käyttöä, sillä kudokset ovat huomattavan kalliita. Näkisin kuitenkin, että näistä materiaaleista pystyy oikeilla välineillä ja tarkalla työn jäljellä saamaan todella kestäviä kappaleita aikaan. Mitä tulee hypoteesiini hiilikuidun ja viulun toisiaan tukevista ominaisuuksista, markkinoilla on jo monia tuottajia, jotka ovat pystyneet yhdistämään nämä materiaalit. Esimerkiksi virolainen kilpajousivalmistaja Falco on luonut jousipyssyjä yhdistäen puu- ja hiilikuitukerroksia komposiittirakenteeksi.

Koska nämä kuitumateriaalit ovat todella ohuita, ne eivät vie kovin paljon tilaa puurakenteen ympärillä. Tein tutkimuksen alkuvaiheessa kokeita myös hiilikuidun käytöstä ytimenä, mutta tällaisessa rakenteessa sen ominaisuudet eivät pääse oikeuksiinsa vahvistamaan viilua ja tuloksena viilu pääsee halkeilemaan jo pienen taivutuksen jälkeen.

Liiman suhde on myös todella isossa roolissa komposiitteja valmistaessa. Jos liima on väärin sekoitettu, se ei tuota parasta mahdollista lujuutta ja kovettumisessa voi mennä todella paljon pidempään. Materiaalit eivät myöskään tartu kunnolla toisiinsa, jos liima



**Kuvat 7,8.** Yksinkertainen koivuviilu ja hiilikuitukudos 1.6mm (yllä) sekä yksinkertainen koivuviilu ja aramidikuitukudos 1.4mm (alla)

## Lähdeluettelo

Saarela, Olli 2007. Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys Ry

Lindell, Patrik 2011. Puukomposiittirakenteiden soveltuvuus veneteollisuuteen. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, venealan koulutusohjelma.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Hiilikuitu> [Luettu 26.3.2018]

<https://www.kevytrakentajanverkkokauppa.fi/tuote-osasto/hiilikuitu/> [Luettu 20.3.2018]

<https://kevera.fi/> [Luettu 26.3.2018]

<https://www.composites-by-design.com/our-story> [Luettu 26.3.2018]

<http://modern.falco.ee/> [Luettu 23.3.2018]